

# 大兴安岭北部宝兴沟金矿床地质地球物理特征与找矿模型

李向文<sup>1,2</sup>, 刘智杰<sup>3</sup>, 岳洪举<sup>4</sup>, 孙桐<sup>3</sup>, 杜海双<sup>3</sup>, 黄继民<sup>3</sup>

(1. 黑龙江科技大学 矿业工程学院, 哈尔滨 150022; 2. 黑龙江省昂昂溪实物地质资料野外科学观测研究站, 黑龙江 齐齐哈尔 161031; 3. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 哈尔滨 150081; 4. 黑龙江省地球物理地球化学勘查院, 哈尔滨 150036)

**摘要:**为进一步探究大兴安岭北部宝兴沟金矿床地质地球物理特征,便于更好地指导下步找矿工作,通过物性参数测定、综合物探剖面测量等工作,提取了地质、地球物理找矿标志,建立适合该区的找矿模型。结果表明:矿化体主要赋存于闪长(玢)岩脉与二十二站组地层接触部位,地层优于岩体;低磁场中高磁条带、高电阻率内低阻带分布区域有利于成矿,而金矿化体相对于围岩表现为明显的低阻高极化特征;矿体部位磁异常梯度变化较大并呈正负交替现象,矿体上盘一侧总体表现为正异常,矿体、脉岩顶部出现明显的峰值,梯度变化小的一侧指示其倾向方向。

**关键词:**宝兴沟金矿床;地质特征;地球物理特征;找矿模型

doi:10.3969/j.issn.2095-7262.2024.06.007

中图分类号:P595

文章编号:2095-7262(2024)06-0864-06 文献标志码:A

## Gological and geophysical characteristics and prospecting model of Baoxinggou gold deposit in northern part of Great Xing'an Mountains

Li Xiangwen<sup>1,2</sup>, Liu Zhijie<sup>3</sup>, Yue Hongju<sup>4</sup>, Sun Tong<sup>3</sup>, Du Haishuang<sup>3</sup>, Huang Jimin<sup>3</sup>

(1. School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science & Technology, Harbin 150022, China; 2. Ang'angxi Physical Geological Data Field Observation & Research Station of Heilongjiang Province, Qiqihar 161031, China; 3. China Geological Survey Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, Harbin 150081, China; 4. Heilongjiang Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Harbin 150036, China)

**Abstract:** This paper aims to investigate the geological and geophysical characteristics of Baoxinggou gold deposit in the northern of the Great Xing'an Mountains for guiding mineral exploration better. The study establishes a suitable exploration model by further summarizing its geological and geophysical characteristics, conducting systematic measurements of physical properties and comprehensive geophysical profiles. The results indicate that mineralized bodies mainly occur at the contacting area between diorite (porphyrite) veins and the 22nd Station strata, and the strata is superior to the rock masses. The high magnetic tapes zone in low magnetic area, and the low resistivity zone within high resistivity are conducive to mineralization, while the gold mineralization body exhibits obvious low resistance and high polarization characteristics relative to the surrounding rock. There is larger magnetic anomaly gradient change with alternating positive and negative phenomena at the ore bodies, and the positive anomaly appears on one side of the hanging wall with obvious peak values at the top of the ore body and vein rocks, and the side with small gradient changes indicates its dip direction.

**Key words:** Baoxinggou gold deposit; geological characteristics; geophysical characteristics; prospecting model

收稿日期: 2024-01-02

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120115041801; 2023-02-44-11)

第一作者简介: 李向文(1976-),男,黑龙江省海伦人,高级工程师,博士,研究方向:固体矿产勘查,E-mail:872416149@qq.com。

## 0 引言

宝兴沟金矿床位于大兴安岭北段漠河盆地东南部,属典型森林沼泽低山丘陵浅覆盖区,植被茂盛,第四系覆盖较厚,找矿难度较大。前人在该区找矿方法和找矿模型上做了大量的实践与研究,往往以小比例尺(1:20~1:5万)物化探等异常为基础,系统开展大比例尺(1:2.5万~1:5千)化探详查以及槽探工程查证等工作,发现矿化线索之后再利用大比例尺物探工作,进一步确定矿化体产状后利用深部钻探工程评价深部找矿潜力<sup>[1-3]</sup>。通过上述找矿方法先后在该区发现了宝兴沟、十五里桥、腰站林场等金矿床(点)<sup>[4-6]</sup>。宝兴沟金矿床就是利用这种找矿方法发现或扩大的,且物探方法在宝兴沟找矿过程中起到了重要指导作用,矿区资源/储量达到大型。笔者在十五里桥地区区域地质矿产调查及宝兴沟金矿区多年矿产普查的基础上,全面总结矿床地质、地球物理特征,以宝兴沟金矿床I号矿体为研究对象开展综合物探剖面试验,初步建立矿区地质-地球物理找矿模型,以期为进一步勘查工作方法选择和区域找矿方法研究提供必要的参考。

## 1 矿区地质特征

宝兴沟岩金矿床位于漠河盆地东南部腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位<sup>[7]</sup>。地层主要为上侏罗统二十二站组( $J_3er$ ),其次为漠河组( $J_3m$ ) (图1),两者分别以中粗粒砂岩、细粒砂岩为主。矿体总体赋存于二十二站组砂岩中,二十二站组砂岩元素丰度明显高于漠河组,为含矿有利地质单元<sup>[5]</sup>。矿区以断裂构造为主,其中北东向断裂构造及其次级构造对金矿化及脉岩均具有一定的控制作用。

现有资料表明,早白垩世岩浆活动与成矿关系较为密切,多以浅成侵入体形式产出,主要为闪长岩、闪长玢岩等脉岩,呈不规则岩株状、脉状侵入于地层中,倾向南东,倾角 $40^\circ$ 左右,宝兴沟金矿区第7号勘查线剖面如图2所示。二者规模不等,闪长岩规模大于闪长玢岩,地表面积最大者为 $1.76\text{ km}^2$ ,其它均小于 $0.10\text{ km}^2$ ,深部最厚处ZK0709钻孔连续311 m。钻孔见有后期少量正长斑岩、花岗闪长岩等零星呈脉状产出。闪长岩和闪长玢岩中,金元素含量明显高于上地壳克拉克值,特别是闪长玢岩,表现更为明显<sup>[8-9]</sup>。

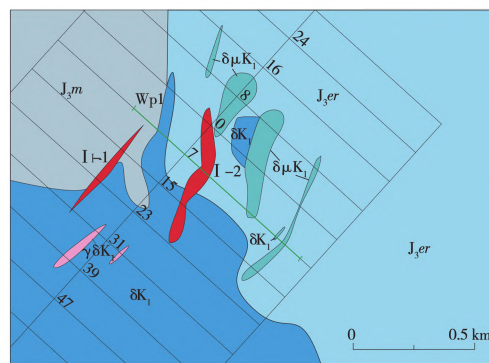


图1 宝兴沟金矿床I号矿带地质

$J_3m$  上侏罗统漠河组;  $J_3er$  上侏罗统二十二站组;  
 $\gamma\delta K$  早白垩世花岗岩长岩;  $\delta K$  早白垩世闪长岩;  
 $\delta\mu K$  早白垩世闪长玢岩; I-2 矿带及编号;  
 $\phi$  勘查线及编号; Wp1 物探综合试验剖面

图1 宝兴沟金矿床I号矿带地质

Fig. 1 Geological of No. 1 ore belt of Baoxinggou gold deposit

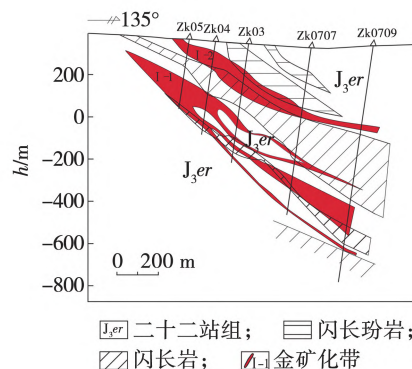


图2 宝兴沟金矿区第7号勘查线剖面

Fig. 2 Profile of exploration line 7 of Baoxinggou gold deposit

## 2 矿体地质特征

矿区内共发现5个金矿带89个金矿(化)体,其中I号金矿带规模最大,可进一步分为I-1和I-2两个矿带,其资源量占全区总资源量的96.62%。I-1号矿带位于I号金矿带西部,地表控制长度1114 m,宽2.6~36.8 m,走向 $20^\circ\sim 38^\circ$ ,倾向东南,倾角 $38^\circ\sim 52^\circ$ 。该矿带在地表不连续,有尖灭再现现象。I-2号矿带位于I号金矿带东部,垂向上位于I-1号矿带上部,地表控制长度850 m,宽3.6~90.0 m,走向 $10^\circ$ ,倾向东南,倾角 $32^\circ\sim 44^\circ$ ,平均金品位 $0.97\times 10^{-6}$ 。矿化体产出于闪长(玢)岩与二十二站组砂岩接触部位,地层优于岩体,地层岩性以中细粒岩屑长石砂岩为主。

矿石中金属矿物较少,含量一般小于1%,主要

为黄铁矿和毒砂, 次为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。黄铁矿早期多呈自形晶, 粗粒较粗; 晚期黄铁矿粒度细小, 多呈浸染状分布, 少量沿脉石裂隙充填, 可见被后期黄铜矿、方铅矿充填交代。毒砂以中、粗粒为主, 多为浸染状分布, 少量嵌存于脉石中。矿区内以硅化、碳酸盐化、绢云母化等以中低温热液蚀变为主, 其中硅化与成矿关系最为密切, 一般硅化蚀变越强金品位越高。

3 地球物理特征

3.1 物性参数

3.1.1 磁性

对矿区不同类型岩矿石以及矿区外围二十二站组、漠河组砂岩进行了磁性参数测定, 采用仪器为 GSM-19T 质子磁力仪, 各类岩矿石测定样品数量最少为 32 块。研究区内各类岩矿石磁性差异明显岩矿石标本磁性参数统计如表 1 所示。磁化率  $\kappa$  表现为早白垩世侵入岩明显高于其他岩(矿)石, 平均值为  $4.37 \times 10^{-6}$ ; 二十二站组与漠河组砂岩为本区最低, 平均值介于  $0.53 \times 10^{-6} \sim 0.65 \times 10^{-6}$ , 且二者大致相当, 但样品间差异较大; 矿石及围岩平均值介于  $1.13 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-6}$ , 二者基本一致, 总体低于早白垩世侵入岩而高于区域上二十二站组与漠河组长石砂岩。剩余磁场强度  $M_r$  表现差异较大, 二十二站组与漠河组长石砂岩最高, 平均值介于  $13.52 \times 10^{-3} \sim 16.86 \times 10^{-3}$  A/m; 其次为早白垩世侵入岩, 平均值为  $9.58 \times 10^{-3}$  A/m; 宝兴沟矿区矿石与近矿围岩大致相当, 介于  $7.98 \times 10^{-3} \sim 8.50 \times 10^{-3}$  A/m, 表现为低剩余磁场强度。宝兴沟金矿化体赋存于二十二站组与早白垩世侵入体接触部位, 因此, 推测二十二站组低磁中有高磁条带分布的区域为宝兴沟式金矿化体的成矿有利部位。

表 1 岩矿石标本磁性参数统计  
Table 1 Statistics of magnetic parametric statistics of rock and ore samples

岩性	N/块	$\kappa/10^{-6}$			$M_r/(mA \cdot m^{-1})$		
		最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
长石砂岩	32	10.23	0.23	0.65	34.57	5.06	13.52
长石砂岩	40	13.90	0.04	0.53	75.94	3.60	16.86
闪长岩	35	6.21	2.64	4.37	20.27	2.34	9.58
金矿石	32	1.84	0.66	1.13	18.33	1.61	7.98
近矿围岩	35	2.34	0.71	1.24	35.50	2.28	8.50

3.1.2 电性

利用小对称四极方法对矿区及外围各类岩石进行了系统电性参数测定, 闪长玢岩样品仅测定了 3 块, 其他岩石样品大于 30 块。测量结果(表 2)表明, 区内各粒级砂岩电阻率均值介于  $799.95 \sim 911.08 \Omega \cdot m$ , 均值大致相当, 但各粒级砂岩最大值与最小值差异大; 极化率均值介于  $4.42\% \sim 6.04\%$ , 总体表现为粒度由粗到细极化率逐渐变小。闪长玢岩电阻率均值为  $322.14 \Omega \cdot m$ , 区内最低; 极化率均值为  $3.24\%$ , 相对较低, 接近围岩。矿石及近矿围岩电阻率平均值介于  $1751.0 \sim 5872.1 \Omega \cdot m$ , 区内最高; 极化率均值介于  $2.09\% \sim 4.20\%$ , 区内较低。区内各类砂岩总体表现为低阻高极化, 闪长玢岩为低阻低极化、矿石及围岩总体为高阻低极化特征, 因此区域上总体可以用高电阻率区分矿石与各类砂岩, 进而缩小目标; 因矿化体与早白垩世侵入岩关系密切, 早白垩世侵入岩具低阻特征, 因此可以推测高电阻带中的低阻条带为成矿有利部位。矿石与近矿围岩亦有较好的区别, 矿石电阻率(平均值为  $1751.0 \Omega \cdot m$ )明显低于近矿围岩(平均值为  $5872.1 \Omega \cdot m$ ), 而极化率(平均值为  $4.20\%$ )高于近矿围岩(平均值为  $2.09\% \sim 4.20\%$ ), 相对于围岩而言, 矿石总体表现为明显的低阻高极化特征。

表 2 岩矿石样品电性参数统计  
Table 2 Parametric statistics of electrical properties of rock and ore samples

岩性	N/块	$\kappa/10^{-6}$			$M_r/(mA \cdot m^{-1})$		
		最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
粗粒砂岩	103	6151.86	59.98	826.41	11.35	1.32	5.89
中粒砂岩	60	3292.28	46.37	911.08	9.57	1.65	6.04
细粒砂岩	15	2161.45	25.63	826.41	9.95	2.60	5.89
粉砂岩	10	1766.71	229.14	799.95	9.55	1.02	4.42
闪长(玢)岩	3	335.45	295.53	322.14	5.09	2.31	3.24
矿石	32	2433.40	240.40	1751.00	18.77	1.39	4.20
近矿围岩	35	6386.10	473.00	5872.10	4.52	1.02	2.09

3.2 综合物探剖面特征

本次研究对宝兴沟金矿床 I 号矿体进行电法、磁法剖面测量试验。试验剖面(Wp1)位于 7 线(图 1), 以 I-2 号矿(化)体为主要研究对象, 走向  $315^\circ$ , 长 920 m、点距 20 m, 共完成 47 个测点。试验剖面地表出露地层为二十二站组中细粒长石砂岩、



早白垩世(石英)闪长岩、闪长玢岩岩脉;地表 I-2 号矿(化)体位于试验剖面中部,总体位于 500 ~ 560 m(50 ~ 56 点号)之间。地表出露蚀变带宽度为 48.11 m,走向 10°,倾向南东,倾角 43°。

### 3.2.1 磁法剖面特征

以磁化率  $\Delta T$ 、视电阻率  $\rho_s$ 、视极化率  $F_s$  为纵坐标轴,以剖面线点号为横坐标轴,形成综合物探剖面折线图(图 3a)及地质剖面(图 3b)。由图 3a 可知,剖面上  $\Delta T$  磁场值介于 -528.10 ~ 273.12 nT 之间,基本以 I-2 号矿(化)体为界,磁异常分界线具有明显的梯度变化,明显分成两段。矿(化)体东南侧 0 ~ 40 号点之间,以正磁异常为主,场值在 -13.15 ~ 273.12 nT 之间;矿(化)体北西侧 40 ~ 90 号点之间为负磁异常,场值在 -528.10 ~ 13.15 nT 之间,场值较低。在正负磁异常过渡部位存在明显的梯度变化,且梯度部位处于 I-2 号矿(化)体上盘一侧。对比图 3a、b 可知,在闪长岩、闪长玢岩岩脉出露部位均具有较明显的跳跃(出现峰值),说明脉岩能在磁异常中较好地反映出来,且沿倾向方向上梯度变化小;而在矿体出露部位(顶部), $\Delta T$  磁异常曲线同样具有峰值,且沿倾向方向(矿体上盘)  $\Delta T$  磁异常基本为正磁异常,反倾向方向(矿体下盘)  $\Delta T$  磁异常为负磁异常;经上延处理后,磁异常梯度变化明显减小,但正负分段依然明显,且沿倾向方向异常值相对较高。

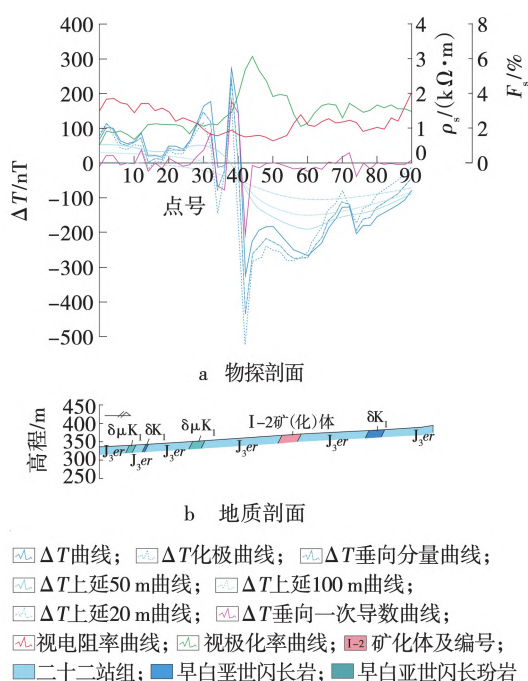


图3 宝兴沟金矿床 I-2 号矿化体物探综合剖面折线

Fig. 3 Line chart of geophysical prospecting comprehensive profile and geological profile map

### 3.2.2 电法剖面特征

由剖面视电阻率折线图(图 3)可知,视电阻率总体变化不明显,场值介于 628.86 ~ 2 438.99  $\Omega \cdot m$  之间,视电阻率背景值约 1 200  $\Omega \cdot m$ ,曲线可大致分为 3 段。剖面上 0 ~ 32 号点之间主要呈高视电阻率特征,场值介于 780.60 ~ 1 830.00  $\Omega \cdot m$ ,并呈降低趋势。32 ~ 54 号点之间主要呈中低视电阻率特征,场值介于 630.93 ~ 945.36  $\Omega \cdot m$ ,低视电阻率位置与 I-2 号矿(化)体位置基本一致;在 50 号点位置视电阻率值最低,与矿化体出露位置相对应。54 ~ 90 号点之间呈高视电阻率特征,总体平稳,介于 779.84 ~ 2 039.09  $\Omega \cdot m$ 。视极化率曲线与视电阻率曲线相对应,场值总体在 1.35% ~ 6.12% 之间,视极化率背景值约 2.5%。同样可分为 3 段,0 ~ 32 号点之间呈中低视极化率特征,场值介于 1.35% ~ 2.25%,且视极化率呈升高趋势。32 ~ 54 号点之间呈高视极化率特征,场值介于 2.25% ~ 6.12%,高视极化率位置与 I-2 号矿(化)体位置总体基本一致,在 44 号点视极化率值最高,其峰值向上盘略有偏移;54 ~ 90 号点之间呈中低视极化率特征,场值介于 2.11% ~ 3.42%,且视极化率曲线平稳。另外特别值得注意的是,早白垩世浅成侵入体在磁法上均表现为明显的峰值,并向其上盘略有偏移。

综上,高精度磁法剖面测量和激电中梯剖面测量在矿体部位均有较明显的异常反应,矿体部位磁异常主要呈正负交替现象,且磁场梯度变化较大,并呈低视电阻率高视极化率异常特征。结合综合剖面情况推测,具有低视电阻率、高视极化率异常且磁场梯度变化较大区域成矿可能性较高。

## 4 找矿模型

### 4.1 地质找矿标志

大地构造位置:矿床位于漠河前陆盆地腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。

地层-岩体标志:矿化体主要赋存于闪长(玢)岩脉与二十二站组地层接触部位,地层优于岩体;地层岩性以中细粒岩屑长石砂岩为主。

构造标志:北东向断裂是区内主要控矿构造。

岩体标志:成矿岩体以早白垩世晚期闪长岩、闪长玢岩等脉岩为主。

蚀变标志:以硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化等中低温热液蚀变为主,其中硅化与成矿关系较为密切。

矿石矿物标志:金属矿物主要为黄铁矿和毒砂,次之为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。

4.2 地球物理找矿标志

磁性参数特征:二十二站组中低磁中有高磁条带分布的区域为金矿化体的成矿有利部位。

电性参数特征:区域上高电阻率中的低阻条带为成矿有利部位,而矿石相对于围岩总体表现为明显的低阻高极化特征。

磁法异常标志:矿化体部位磁异常主要呈正负交替现象,矿体上盘表现为正异常,矿体、脉岩顶部

出现明显的峰值,梯度变化小一侧指示其倾向方向。

电法异常标志:矿化体部位具有明显的低视电阻率高视极化率异常特征。

4.3 找矿模型

在全面总结矿床地质特征和成矿规律的基础上,结合区内地球物理物性参数和电法、磁法综合试验剖面测量成果,最大限度地提取了地质、地球物理找矿标志。结合前人部分地质研究成果,按照找矿模型建立的基本理论<sup>[10-12]</sup>,初步建立了宝兴沟金矿床地质-地球物理找矿模型(表3)。

表 3 宝兴沟金矿床地质-地球物理找矿模型  
Table 3 Geological geophysical prospecting model of Baoxinggou gold deposit

特征	标志	分类	信息显示
地质	赋矿岩体	岩体分类	以闪长岩、闪长玢岩为主,亦见少量花岗闪长岩、花岗斑岩等
		岩体时代	早白垩世晚期,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年为 118.13~124.92 Ma <sup>[2,8]</sup>
		岩体规模	岩体规模不等,最大者 1.76 km <sup>2</sup> ,其他均小于 0.1 km <sup>2</sup>
		侵位方式	被动侵位
		化学成分	w(SiO <sub>2</sub> )为 50.14%~63.69%,w(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )为 15.04%~16.98%,w(TiO <sub>2</sub> )为 0.58%~1.03%,w(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)介于 5.38%~7.14% <sup>[8]</sup>
		微量元素	富集 Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb、Zn、Mo 等元素,变异较强元素 Au、Ag、Bi、Pb <sup>[9]</sup>
		成矿部位	矿化体主要赋存于闪长(玢)岩脉与二十二站组地层接触部位,地层优于岩体
	构造	大地构造位置	漠河前陆盆地东缘、腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位
		控矿构造	北东向断裂是矿区主要控矿构造,其次为近东西向断裂构造。岩浆岩与砂岩接触带构造也是主要的容矿构造
地球物理	地层	地层单元	上侏罗统二十二站组优于其他地层
		主要岩性	以中细粒岩屑长石砂岩为主
	矿石	金属矿物	主要为毒砂和黄铁矿,次为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等
		围岩蚀变	以中低温围岩蚀变为主,主要为硅化、碳酸盐化、绿泥石化等。硅化与成矿关系较为密切
	磁性	岩体	磁化率平均值为 4.37×10 <sup>-6</sup> ,剩余磁化强度平均值 9.58×10 <sup>-3</sup> A/m
		地层	磁化率平均值介于 0.53×10 <sup>-6</sup> ~0.65×10 <sup>-6</sup> ,剩余磁化强度平均值介于 13.52~16.86×10 <sup>-3</sup> A/m
		围岩	磁化率平均值 1.13×10 <sup>-6</sup> ,剩余磁化强度平均值 7.98×10 <sup>-3</sup> A/m
		矿体	磁化率平均值 1.24×10 <sup>-6</sup> ,剩余磁化强度平均值 8.50×10 <sup>-3</sup> A/m
	电性	岩体	电阻率平均值为 322.14 Ω·m,极化率平均值为 3.24%
		地层	电阻率平均值介于 799.95~911.08 Ω·m;极化率平均值介于 4.42%~6.04%
		围岩	电阻率平均值为 5 872.10 Ω·m,极化率平均值为 2.09%
		矿体	电阻率平均值为 1 751.0 Ω·m,极化率平均值为 4.20%
地面		磁法	矿体部位出现明显的正负梯度变化,矿体上盘场值在-13.15~273.12 nT 之间,下盘场值在-528.01~13.15 nT 之间。脉岩出露部位出现明显的跳跃(峰值),倾向方向上梯度变化小
		电法	矿体部位呈相对低电阻率特征,场值介于 630.93~945.36 Ω·m,表现为高极化率征,场值介于 2.25%~6.12%,峰值向矿化体上盘略有偏移

宝兴沟矿区地质-地球物理找矿模型综合应用在矿区勘查和区域找矿工作取得了较好的效果。宝

兴沟金矿区在地质、综合物探方法应用的基础上,共施工了钻孔 52 个,其中 46 个见矿,见矿率为

88.5%,矿区资源量达到大型。矿区外围在地质、化探、物探的基础上,发现金矿化点1处,平均厚度介于3.50~4.50 m,最高品位 $0.51 \times 10^{-6}$ ,并显示具有一定的找矿潜力。

## 5 结 论

(1)矿床地质特征研究表明,矿(化)体与早白垩世岩浆活动关系密切,主要赋存于闪长(玢)岩脉与二十二站组地层接触部位,地层优于岩体。

(2)物性参数分析表明,二十二站组中低磁场中高磁条带、高电阻率中低阻条带为成矿有利部位;矿石与围岩相比表现为明显的低阻高极化特征,磁化率上表现不明显。

(3)综合物探剖面分析表明,矿体部位磁异常主要呈正负交替现象,矿体上盘表现为正异常,矿体、脉岩顶部出现明显的峰值,梯度变化小一侧指示其倾向方向;矿体部位具有明显的低视电阻率高视极化率异常特征。

(4)勘查实践证明,文中建立的宝兴沟式金矿床地质-地球物理找矿模型,可以在大兴安岭北部沉积岩区找矿工作中加以推广应用。

## 参考文献:

[1] 公维国,李向文,魏海峰,等.黑龙江十五里桥金矿区土壤地

球化学特征及找矿方向[J].黄金,2013,34(4):19-23.

[2] 赵炳新,徐伦先,公维国,等.黑龙江宝兴沟金矿床化探异常特征及控矿因素分析[J].黄金科学技术,2010,18(2):6-11.

[3] 马跃,白令安,杜海双,等.大兴安岭北部二十一站东地区地球物理特征及其找矿意义[J].黄金,2017,38(6):13-17.

[4] 李向文.上黑龙江成矿带金矿床成矿规律与找矿预测研究[D].长春:吉林大学,2015.

[5] 李向文,张志国,王可勇,等.大兴安岭北段宝兴沟金矿床成矿流体特征及矿床成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(4):1071-1084.

[6] 李向文,杨言辰,叶松青,等.黑龙江省塔河县十五里桥金矿床地质特征及控矿因素[J].地质与勘探,2014,50(1):77-87.

[7] 张顺,林春明,吴朝东,等.黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化[J].高校地质学报,2003,9(3):411-418.

[8] 周传芳,王献忠,李向文,等.黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床中生代侵入岩及其对成矿作用的制约[J].矿床地质,2018,37(1):137-150.

[9] 陈卓,李向文,李师白,等.黑龙江宝兴沟金矿床构造叠加晕特征及深部预测[J].地质与勘探,2018,54(3):535-543.

[10] 叶松青,李守义.矿产勘查学[M].北京:地质出版社,2011.

[11] 冯军,蒋文,张征.新疆维权银铜多金属矿地质-地球物理找矿模式及成矿模型[J].物探与化探,2022,46(4):868-876.

[12] 严康,韦乐乐,张建鹏,等.甘肃省根沙塘地区地球化学、地球物理特征及找矿模型[J].黄金,2020,41(8):8-12.

(编辑 张永彬)